Edwin Gräupl

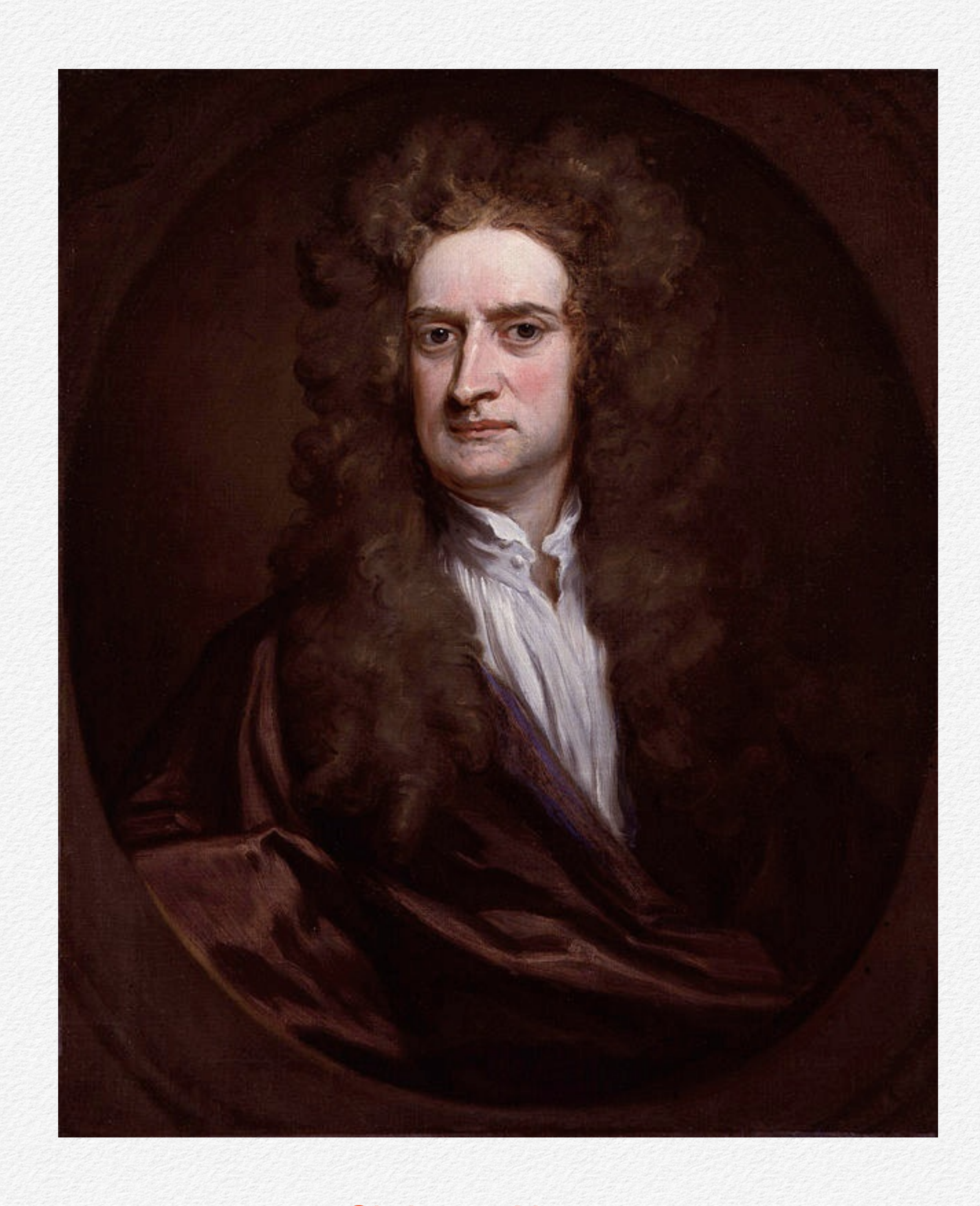
Grundlagen und Grenzen der Physik

Gegen den Hochmut

2014

Impressum

Allen denen gewidmet, denen Bildung mehr bedeutet als Ausbildung, besonders denen, die Physik unterrichten.



Sir Isaac Newton

Vorwort

In meiner Studienzeit an der Universität Innsbruck gab es für kurze Zeit ein Diskussionsforum (sieben Jahre vor 1968!) darüber, wie weit Theologie eine Wissenschaft sei. Dabei wurde im Wesentlichen (vom Mathematiker Wolfgang Gröbner gegen den berühmteren Theologen Karl Rahner) damit argumentiert, dass Theologie auf Axiomen aufbaue, die geglaubt werden müssten, während die Naturwissenschaft voraussetzungsfrei wäre.

Ich (obwohl oder besser weil ich Physikstudent war) brachte damals das Argument ein, dass der Naturwissenschaftler beim „Schluss" vom vergangenen Experiment auf die künftige Anwendung ebenfalls auf seinen Glauben angewiesen wäre.

Ich habe meine Meinung seit damals in diesem Punkt nicht geändert. Nach meiner Überzeugung ist ohne das Fundament gewisser Grundannahmen nichts möglich, sei es in der Naturwissenschaft oder sogar in der Mathematik.

Im Folgenden werde ich diese Position für den Fall der Physik genauer darlegen. Ich glaube, dass das zwar dem „working scientist" sehr egal sein wird, dem Lehrer der Naturwissenschaften darf es aber nicht gleichgültig sein. Physik im Bildungskanon muss mehr bieten können als Rechenrezepte.

Darüber hinaus möchte ich ansprechen, dass auch die Wissenschaft Physik von Menschen entwickelt worden und damit den Begrenzungen der menschlichen Natur unterworfen ist.

Allen Physikern möchte ich dringend empfehlen, sich der Vorläufigkeit und Gefährdung ihrer Ergebnisse klar bewusst zu sein. Hochmut ist nicht angebracht. Um mit den Worten aus dem Canto LXXXI von Ezra Pound zu sprechen:

„Pull down thy vanity, I say pull down"

Axiome der Physik

1

Das angeblich Selbstverständliche

Einleitung

Hier soll das diskutiert werden, was allen Lehrgängen der zeitgenössischen Physik zu Grunde liegt, ohne dass darüber je ein Wort verloren würde. Das alle ist für den „working scientist“ so klar, dass jede Diskussion mit einem Anfänger darüber schlechthin unsinnig erscheint. Allenfalls gealterte Nobelpreisträger schreiben *post festum* in Büchern, die alle ansprechen sollen, einige Worte dazu.

Ich muss gestehen, dass ein Student gut beraten ist, sich alle Techniken der Physik mit maximalem Eifer anzueignen. Wer lange über die Voraussetzungen nachdenkt, wird kein erfolgreicher Physiker werden, leider. Hier, in diesem Büchlein, darf aber nachgedacht werden: Was sind die unausgesprochenen Axiome und Prinzipien der Physik?

Naiver Realismus

„Common Sense“

1. **Es gibt „die“ intersubjektive Realität**
2. **Experimente „befragen“ die „Realität“**
3. **Was gestern „wahr“ war, wird auch morgen „wahr“ sein**

Was da draussen („vor der Höhle Platons“) sein mag, haben sich Menschen schon immer gefragt. Diese Neugier gehört wohl zur *conditio humana.*

Die „Realität“

Seit Jahrtausenden haben Philosophen darüber nachgedacht, was ausser meinem (nach Descartes unbezweifelbaren) „Ich“ noch existiert. (Hier ist nicht der Ort, das nachzuerzählen, gute Hinweise findet man etwa bei Berkeley, Kant, Mach.) Dazu gibt es im Abendland aber auch eine praktisch handwerkliche Antwort vernünftiger Bürger, den „common sense“. Die Physiker von heute handeln so, dass man annehmen muss, sie gingen davon und damit von der unbezweifelbaren Existenz der „Welt“ aus, die für alle Menschen gleich und von ihnen unabhängig da ist. Man nennt das den naiven Realismus.

Das Experiment

Die große Erfindung der abendländischen Wissenschaft ist das Experiment, das an die Stelle der simplen Betrachtung der Welt tritt. Wissenschaftshistorisch denkt man dabei an die Fallversuche Galileis als Prototyp dieses Verfahrens. Der Physiker stellt dabei die Eigenschaften der (allen in gleicher Weise gemeinsamen) Welt unter genau definierten und protokollierten Bedingungen durch systematische Beobachtung

und Messung fest. Das Ergebnis dieser (systematisch wiederholten) Experimente definiert normativ die Beschaffenheit der Welt.

Der „ewige Kosmos“

Alle Vorhersagen der Technik mit Hilfe der angewandten Physik gehen davon aus, dass das, was sich gestern im Experiment gezeigt hat, auch morgen in der Anwendung so zeigen wird. Korrekt geplante Brücken stürzen nicht ein. Im neunzehnten Jahrhundert (etwa Haeckel) sprach man hier von „ewigen Gesetzen“.

Neuzeitliche Wissenschaft

Methodische Ausgrenzung

1. **„Real“ ist nur, was interpersonal reproduzierbar ist**
2. **Die Frage nach dem Sinn ist sinnlos**

Der große Aufstieg der Naturwissenschaften seit dem siebzehnten Jahrhundert ist (neben Einflüssen einer sich entwickelnden Wirtschaft) auch darauf zurückzuführen, dass man das Forschungsfeld dramatisch einschränkte.

Objekt der Naturwissenschaft

Die Naturwissenschaft (oder auch die Physik) beschäftigt sich ausschließlich mit der „Realität“, die durch das Experiment definiert ist. Nur was interpersonal reproduzierbares Ergebnis von Experimenten ist, kann Gegenstand von „Science“ sein. Man führt diese Position meist (und vermutlich nicht ganz richtig) auf Galilei zurück.

Die Frage nach dem Sinn ist sinnlos

Die (vorwissenschaftliche) Naturphilosophie der Alten diskutierte gern und an zentraler Stelle die Rolle des Menschen im Kosmos und damit die Bedeutung der Naturerscheinungen für ihn. Die Frage nach dem Sinn der Phänomene war etwa in der Alchemie (die noch von Newton sehr ernst genommen wurde) das eigentliche Thema.

Wenn wir in einem Gedankenexperiment annehmen, dass ein Engel einem Menschen eine Botschaft gebracht haben sollte, die seinem Leben einen Sinn verleiht, dann ist das nicht reproduzierbar, nicht überprüfbar und damit nicht Gegenstand

der Wissenschaft. Da nun sinnstiftende Erlebnisse nicht reproduzierbar sind, fallen sie aus dem diskutierbaren Rahmen. Ein "Wunder" (nicht reproduzierbar!) ist nicht Teil der wissenschaftlichen Welt!

Man muss sich darüber klar sein, dass die (methodisch sinnvolle) Reduktion und Einengung des Begriffs der „naturwissenschaftlichen Wirklichkeit“ nicht mit dem Begriff der "Wirklichkeit" identisch ist.

Experimente liefern interpersonal falsifizierbares Wissen, aber keinen persönlichen Sinn!

Mathematische Physik

Basis der mathematischen Modellierung

1. **Das Kontinuum der reellen Zahlen gilt als das geeignete Instrument zur mathematischen Modellierung der „Realität“**
2. **„Überall und zu allen Zeiten gleich“ bewirkt die Erhaltungssätze und umgekehrt**
3. **„Realität“ ist als Extremwert ausgezeichnet**

Wenn der Fischer sein Netz wählt, so bestimmt er damit, was er fangen wird. Wer weite Maschen im Netz hat, wird keine kleinen Fische erhalten. Genau so wird durch die Auswahl der mathematischen Werkzeuge bestimmt, welche Begriffe in einer Theorie zielführend sein werden.

Das Kontinuum der reellen Zahlen

Isaac Newton erfand für sein epochales System (zeitgleich mit Leibniz) die Infinitesimalrechnung. Grundlegend dafür ist das Konzept des Kontinuums, woraus sich dann die reellen Zahlen ergeben. Die Koordinaten der Dinge sind in Newtons Welt reelle Zahlen (zur Erinnerung: das kann unendlich viele nicht periodische Dezimalstellen bedeuten, z.B.: 3,14159....) und das ist bis heute so. Damit ist vor jeder Erfahrung eine wesentliche Aussage über die (nach Einstein vierdimensionale) Welt getroffen, die noch dazu in krassem Widerspruch zu allen Atom-Hypothesen steht. Noch immer ist das Kontinuum (ein Konzept, das von einer spezifischen Eigenschaft unserer optischen Wahrnehmung induziert wird) der reellen Zahlen mit der auf ihnen aufbauenden Mathematik das „geeignete“ Instrument der mathematischen Modellierung der „Realität“.

Die Erhaltungssätze

Grundlage jeder mathematischen Beschreibung der „Natur“ ist die Gültigkeit der Erhaltungssätze, also Erhaltung von Energie,

Impuls und Drall. Diese, immer wieder als zutreffend beobachteten Sätze sind mathematisch äquivalent (Emmy Noether) zu Invarianzen der Naturbeschreibung. Ist die mathematisch formulierte Naturbeschreibung zu allen Zeiten gleich beschaffen (invariant gegenüber einer Verschiebung der Zeit), so ergibt sich daraus notwendig der Satz von der Erhaltung der Energie. Aus der Invarianz gegenüber Translation und Rotation folgen die Sätze der Erhaltung von Impuls und Drehimpuls (Drall). Konstruiert man also eine physikalische Theorie in der Form, wie es Newton getan hat, so sind darin diese Erhaltungssätze vor jeder Erfahrung festgelegt. Umgekehrt gilt, dass der Glaube an die Erhaltungssätze zur Folge hat, dass die Welt gegenüber Verschiebungen in Zeit und Raum invariant ist. Das ist der (vorläufige) Endpunkt der Verschiebung des „Mittelpunktes des Universums“ von der Erde über die Sonne nach überall (und nirgends).

Realität als Extremum

Vergleichsweise sehr rasch entwickelten viele Mathematiker ersten Ranges die Newtonsche Theorie des Planetensystems zu erstaunlicher Leistungsfähigkeit und unerwarteter Eleganz. Es zeigte sich, dass die wirklichen Bahnen der Planeten sich vor allen anderen denkbaren Wegen dadurch auszeichneten, dass die Differenz zwischen kinetischer und potentieller Energie - über die Zeit summiert - ein Extremum bildet (die Variation des Zeitintegrals über die Lagrangefunktion ist null) .

Der damit definierte Lagrange-Formalismus erwies sich als universell verwendbares Grundkonzept in allen Gebieten der Physik. Schließlich erhob man im zwanzigsten Jahrhundert diesen *mutatis mutandis* angepassten Formalismus (stillschweigend) zum Grundgerüst jedes Ansatzes für eine (künftige) Theorie. Leibniz wäre begeistert gewesen zu sehen, dass damit das Prinzip des „zureichenden Grundes“ das Fundament aller physikalischen Theorien geworden war.

Methodologie



Die unausgesprochene Wissenschaftstheorie hinter der Praxis der Forschung

Mit Paul Feyerabend möchte ich behaupten, dass es bisher keine universal gültige und funktionierende Methodologie der Physik gibt. Um so genauer sollte man betrachten, was im Wissenschaftsbetrieb geschieht. Hier ist man derzeit mit viel Pragmatismus am Werk, man kann fast alles berechnen und augenscheinlich wenig verstehen.

Praxis der Physiker

Flexibler Pragmatismus im Alltag

1. **Kritischer Rationalismus an Feiertagen**
2. **Langlebige Theorien als Argumentationsrahmen**
3. **„Effektive Theorien“ und „Patchworkphysik“**

Kritischer Rationalismus

Nach dem „Mainstream“ der Wissenschaftstheorie können physikalische Theorien nicht verifiziert werden, sondern nur falsifiziert (Karl Popper). Tatsächlich agiert die „scientific community“ zwar verschämt, aber noch immer, nach dem Verifikationsprinzip. Noch immer werden Theorien „bewiesen“, oder was viel schlimmer ist, es werden nicht falsifizierbare Theorien ernsthaft diskutiert. Mit anderen Worten kann man sagen, dass der kritische Rationalismus von den Physikern vor allem für Feiertagsreden verwendet wird.

Theorie als Argumentationsrahmen

Die physikalische Theorie ist ein System, in dem die einzelnen Sätze ihren Sinn aus dem Ganzen beziehen, grundlegende Begriffe sind nicht isoliert definierbar, sondern nur im Zusammenhang sinnvoll. Schon in Newtons Mechanik ist etwa der Begriff der „Kraft“ nicht isoliert definierbar, sondern nur im gesamten Rahmen dieses Systems durch seine Verwendung erfassbar. Daher sind auch die Motive für Experimente („Fragen an die Natur“) nur aus dem jeweiligen Konzept heraus verständlich und brauchbar. „Erfolgreiche“ Theorien sind flexibel und damit gegen „lokale“ Falsifikationen sehr widerstandsfähig (Lakatos). Selbst wenn es zum Paradigmenwechsel (Kuhn) kommt, werden die altgedienten Vertreter einer Theorie meist nicht überzeugt, sondern sie

sterben nur langsam aus (Planck). Das vollzieht sich eher als soziales Phänomen denn als rationale Theoriekritik.

Effektive Theorien

Im zwanzigsten Jahrhundert gelang es, für fast alle bekannten Aspekte der physikalisch relevanten Welt präzise mathematische Modelle bereit zu stellen. Diese Modelle bilden in ihrer Gesamtheit nicht die große universale Theorie, die von vielen Physikern angestrebt wird, sie sind nicht einfach zu vereinen. Vielmehr dürfen die Modelle nicht über ihren Anwendungsbereich hinaus extrapoliert werden, da sie dann nachweislich Unsinn produzieren. Es handelt sich also um lokal gültige Konzepte, die man „effektive Theorien“ nennt. In gewisser Weise ist die aktuelle Physik ein „Patchwork“ effektiver Theorien, ein Phänomen, das sehr gut in die postmoderne Welt passt. Damit ist man von der Welterklärung durch die Physik weiter entfernt denn je.

Umgang mit Schwierigkeiten

Einige Beispiele für die „Problemkultur“

1. **Himmelsmechanik**
2. **Kinetische Theorie der Wärme**
3. **Photophorese**
4. **Renormierung**

Ein naiver Wissenschaftsfan erwartet von den Physikern, dass sie auftretende Schwierigkeiten offen benennen und sich darum bemühen die Probleme zu lösen. Dabei vergisst er die Realität des Physikers in seinem universitären Umfeld. Nur der Wissenschaftler, der klug oder glücklich genug war, sich ein lösbare Aufgabe zu stellen macht Karriere. Manche Problemfelder werden daher wie die Pest gemieden, da sie als Killer des beruflichen Erfolgs gelten.

Himmelsmechanik

Isaac Newton selbst hat in seinen *„Principia Mathematica Philosophiae Naturalis“* das Zweikörperproblem gelöst: Ein Planet bewegt sich um den Schwerpunkt des Systems „Sonne-Planet“ in einer elliptischen Bahn. Sehr viel schwieriger wird es für den Fall dreier Massenpunkte unter dem Einfluss der gegenseitigen Anziehung. Man hielt das „Dreikörperproblem“ für so schwierig und wichtig, dass für seine (analytische) Lösung Preise ausgesetzt wurde. Immerhin konnte der große Mathematiker Poincaré zeigen, dass die Lösungen in eigenartiger Weise chaotisch sind (was ein halbes Jahrhundert später zur Chaostheorie führte). Erst zwei Jahrhunderte nach Newton legte im Jahre 1909 Sundmann eine Lösung vor, die man schon nicht mehr erhofft hatte, nämlich eine garantiert konvergierende Reihe. Leider stellte sich heraus, dass die Reihe so langsam konvergiert, dass sie für praktische Anwendungen unbrauchbar ist. 1991 erweiterte Qiudong Wang

das Verfahren auf den allgemeinen Fall von n Körpern (was allgemein für unmöglich gehalten worden war), auch seine Lösung ist für praktische Berechnungen leider nicht nützlich. Da man inzwischen durch leistungsfähige Computer-Algorithmen (etwa den Lie-Integrator) die himmelsmechanischen Aufgaben rasch und präzise lösen kann, ist das Interesse an den allgemeinen analytischen Lösungen sehr klein geworden und aus dem Fokus der (veröffentlichten) Physik verschwunden. Man hat erreicht, was man sich gewünscht hat (die analytische Lösung), aber man kann damit nichts anfangen. Daher redet man einfach nicht mehr über das, was man vorher wie den heiligen Gral gesucht hat, weil der Gral nicht effizient ist. Der Erfolgskult der Naturwissenschaft kennt keine Gnade und keine Dankbarkeit.

Kinetische Theorie der Wärme

Ludwig Boltzmann entwickelte in einer Zeit, in der die Existenz von Atomen lediglich eine Hypothese (ohne die Möglichkeit der Falsifikation durch ein Experiment) war, seine Theorie der Wärme. Darin leitet er aus der Annahme vieler Teilchen und mit Hilfe statistischer Überlegungen aus der Newtonschen Mechanik die „Gesetze" der Thermodynamik her, so etwa seine berühmte Definition der Entropie. In seiner Theorie wird der Ablauf der Zeit (im Einklang mit unseren Erfahrungen) zur Einbahn, von gestern zum morgen. Das widerspricht allerdings der Mechanik Newtons, in der etwa ein Film der Planetenbewegung auch bei rücklaufender Projektion eine mögliche Situation zeigt. Die Newtonsche Mechanik ist invariant gegenüber einer Umkehrung der Zeit, die daraus folgende Thermodynamik Boltzmanns aber nicht! Das bedeutet, dass irgendwo in Boltzmanns Überlegungen der „Zeitpfeil" eingeführt worden ist, ohne dass das ihm (oder anderen) aufgefallen wäre. Auch heute verwendet man (lokal und effektiv) mit Erfolg sowohl Newtons Mechanik als auch Boltzmanns kinetische Gastheorie. Über diesen Widerspruch, oder auch über die fundamentale Frage der gerichteten Zeit wird im Lehrbetrieb der Physik meist kein Wort verloren. Offensichtlich gilt das als unfruchtbares Theoriegelände. Daran haben auch die Bemühungen von Ilya Prigogine nichts geändert.

Die Photophorese

Im Gegensatz zu den vorigen Themen ist dieser Komplex eher lokal und peripher, dafür aber sehr signifikant. Der Wissenschaftstheoretiker Feyerabend lernte als Physikstudent in Wien das Phänomen der von Ehrenhaft entdeckten „Photophorese" kennen. Er wies später in seiner Wissenschaftskritik darauf hin, dass niemand sie erforschen wollte oder konnte, ja er bot dem, der das tun wollte seine Mitschriften aus seiner Studienzeit an. Ich selbst habe bei einem Experimentalseminar in Wien im Jahre 1979 noch die Gelegenheit gehabt, ein „Töpfchen" (evakuierter Glaskolben mit

Kohlestaubtteilchen) in „Aktion“ zu sehen. Faszinierend der Tanz der Teilchen im Lichtstrahl! Deprimierend war dabei zu sehen und im Gespräch zu erfahren, wie der Mainstream Personen und Fragen ausgrenzt, die nicht opportun scheinen.

Renormierung

Die Beseitigung der Divergenzen der Quantenelektrodynamik durch die sogenannte Renormierung (Richard Feynman) wurde weitgehend als mathematisch und logisch sehr zweifelhaftes, aber wirksames Rezept angesehen. So schrieb etwa Walter Thirring noch 1990 in seinem „Lehrbuch der Mathematischen Physik“, dass er dieses Konzept nicht behandle, weil ihm derzeit noch die nötige mathematische Seriosität fehle. Hier sieht man sehr deutlich, dass auch sogenannte mathematische Methoden bisweilen nur deswegen akzeptiert werden, weil sie Resultate liefern, nicht aber, weil sie logisch nachvollziehbar wären!

Dafür gibt es auch schon in früherer Zeit ein lehrreiches Beispiel. Oliver Heavyside entwickelte 1880 bis 1887 seinen Operatorenkalkül, der dadurch Differentialgleichungen in algebraische Gleichungen verwandelt, dass er (ohne logische Rechtfertigung) mit dem Differentialoperator rechnet, wie mit einer reellen Zahl. Das war für jeden Mathematiker eine unverschämte Zumutung, bis es gelang eine mathematisch exakte Theorie (die Laplace-Transformation) zu entwickeln, die genau das erlaubt. Wunderbar dazu das Zitat von Heavyside:

Die Mathematik ist eine experimentelle Wissenschaft, und Definitionen waren nicht zuerst da, sondern entstanden erst später.

Damit ist klar der pragmatische Standpunkt mancher Naturwissenschaftler formuliert, der Theorien nicht nach ihrer logischen Qualität, sondern nach ihrer Verwendbarkeit qualifiziert. Folglich sollte aber dann auch die Attitüde des streng logisch denkenden Wissenschaftlers abgelegt werden!

Bedenkliches



“Postempirische Physik“
oder das Ende der Neuzeit

Das Letzte

Jenseits der Empirie

Jenseits der Empirie

Seit nunmehr fast hundert Jahren arbeiten die Physiker daran, einerseits die Quantenwelt nicht nur berechnen, sonder auch „verstehen“ zu können und andrerseits die Gravitation mit diesem Konzept kompatibel zu machen. Nicht zufällig hatte Albert Einstein, der Schöpfer der allgemeinen Relativitätstheorie immer wieder Zweifel an den Ergebnissen der Quantentheorie seit Schrödingers Einführung der Psi-Funktion (und damit der Wahrscheinlichkeit) angemeldet. In den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts hatte man begonnen „Strings“ statt punktförmiger Elementarteilchen als grundlegende Struktur einzuführen. Diese „String Theorie“ hat sich seither sehr weit entwickelt und bietet auch Lösungen für eine gemeinsame Theorie aller Kräfte (einschließlich der Gravitation) an, allerdings mit einer wesentlichen Einschränkung: Alle diese theoretischen Konstrukte sind bisher weder praktisch anwendbar noch falsifizierbar!

Der Wissenschaftstheoretiker Richard Dawid schlug deshalb in seinem Buch „String Theory and the Scientific Method“ eine neue Methode der Bewertung physikalischer Theorien vor: Die „nicht empirische Bestätigung“!

Bekanntlich kann niemand sagen, was „Kunst“ ist, vielmehr wird im Kreis der etablierten Kunstliebhaber und Kunsthändler im Diskurs einem Produkt dieses Adelsprädikat zu- oder auch

abgesprochen. In ähnlicher Weise soll das nun auch bei den nicht falsifizierbaren Theorien der Physik geschehen. Damit deutet sich (zumindest partiell) das Ende einer Periode von vierhundert Jahren empirischer Naturwissenschaft an, das postmoderne Zeitalter hat begonnen.

Literatur

4

Empfehlung

Literaturempfehlung

Paul Feyerabend, Wider den Methodenzwang. Suhrkamp (stw 597), Frankfurt am Main 1976, ISBN 3-518-28197-6

Thomas S. Kuhn, Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Suhrkamp, Frankfurt am Main 1967; 2. Auflage 1976, ISBN 3-518-06733-8.

Imre Lakatos, Proofs and Refutations. Cambridge University Press, Cambridge 1976, ISBN 0-521-29038-4

Karl Popper, Vermutungen und Widerlegungen, ISBN 3-16-147311-6